

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Pojízdný manipulátor s výkovky

Mobile manipulator for forgings

Student:

Jan Klvaňa

Vedoucí práce:

Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

Ostrava 2019

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Klvaňa**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**  
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**  
Téma: **Pojízdný manipulátor s výkovky  
Mobile Manipulator for Forgings**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte pojezdový manipulátor pro manipulaci s výkovky. Manipulátor musí zajistit pohyb dopředu a zpět a otočení o 180° v ose kolmé na pohyb. Rovněž zajistěte možnost pohybu nahoru a dolů.

Parametry manipulátoru:

- hmotnost výkovku maximálně 40 kg,
- maximální průměr výkovku 250 mm.

Výkresová dokumentace bude obsahovat sestavu manipulátoru a výrobní výkres vybrané součásti.

### Seznam doporučené odborné literatury:

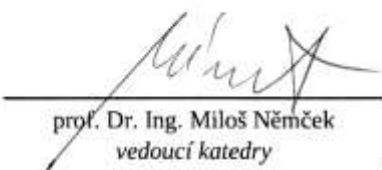
1. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: *Části strojů 1*. Praha: SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.
2. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: *Části strojů 2*. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00046-8.
3. DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I: Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
4. Leinveber, J.; Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. 3.dopl.vyd. Praha: Albra 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
5. KRÍŽ, R., VÁVRA, P.: *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha: 1993-1998. 8 svazků.
6. NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*. Druhé vydání Skripto VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8, 111 s.
7. KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů-teorie+projekty*. Www-stránky kat. 347, 2015.
8. Fotodokumentace (elektronická).
9. Firemní katalogy, prospekty, normy a www-stránky s danou problematikou.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5.2019



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské\*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská\*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.

  
.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Klvaňa

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Olomouc – Holice, Partyzánská 14, 779 00

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Klvaňa, J. *Pojízdný manipulátor s výkovky: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Částí a mechanismů strojů, 2019 ,44 s. Vedoucí práce: Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem pojízdného manipulátoru s výkovky. V úvodu je rozpracována nabídka manipulátorů na trhu v současné době. Na základě používaných manipulátorů a požadavků zadaných zadavatelem práce je navrženo samotné zařízení. Jednotlivé části konstrukce zařízení jsou detailně popsány v jednotlivých kapitolách. V další části bakalářské práce jsou stanoveny zatěžující síly a jsou provedeny vybrané pevnostní a kontrolní výpočty. Poslední část se zabývá kontrolou řídítek metodou konečných prvků, kde bylo zjištěno maximální napětí, které bylo porovnáno s dovoleným napětím. Navržený manipulátor je zkreslen v příloze.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Klvaňa, J. *Mobile manipulator for forgings: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 44 pages. Supervisor: Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

This bachelor thesis pursues the desing of a mobile manipulator for forgings. The present offer of manipulators on the market is detailed in the introduction. The device itself is designed based on the used manipulators and on the requirements given by the contractor. The individual parts of the construction are described in detail in corresponding chapters. In the following part of the thesis, load forces are set and chosen solidity and control calculations are made. The final part coverts the check of handlebars using finite element method. That way we found the peak tension, which was then compared to the allowed tension. The designed manipulator is drawn in the attachment.

## **Poděkování**

Tím bych chtěl poděkovat mé vedoucí bakalářské práce paní Ing. Šárce Hurníkové, Ph.D. za odborné rady, předané zkušenosti a především za pomoc při zpracování této práce. Dále chci poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

## Obsah

1 Úvod .....	6
1.1 Stanovení cílů .....	6
2 Rešerše .....	7
2.1 Rešerše manipulátorů .....	7
3 Rozbor ovládání manipulátoru .....	11
4 Návrh konstrukce manipulátoru .....	12
4.1 Návrh těla manipulátoru .....	13
4.2 Návrh pojezdového mechanismu .....	14
4.3 Návrh pojezdového mechanismu .....	18
4.4 Návrh pneumatického válce .....	19
5 Pevnostní a návrhové výpočty .....	20
5.1 Kontrola rovnováhy momentů .....	20
5.2 Výpočet posouvající síly při manipulaci maximálně zatíženého zařízením .....	21
5.3 Kontrola koutového svaru řídítek .....	23
5.4 Kontrola ohybového napětí profilu těla .....	25
5.5 Kontrola ložisek .....	25
5.5.1 Kontrola ložiska SKF W 6005 – 2RS1 .....	25
5.5.2 Kontrola axiálního ložiska SKF 51108 .....	26
5.5.3 Kontrola ložiska SKF 61826 – 2RS1 .....	26
5.5.4 Kontrola ložiska SKF W 6005– 2RS1 .....	26
5.6 Výpočet uchopovací síly výkovku .....	28
5.7 Kontrola čepů .....	29
5.7.1 Kontrola čepu spojení těla s pístem pneumatického válce .....	29
5.7.2 Kontrola čepu spojení pneumatického válce s tělem manipulátoru .....	30
5.7.3 Kontrola čepu spojení ramen s tělem manipulátoru .....	31
5.8 Kontrola ohybového napětí profilu ramene .....	32
6 Úloha MKP .....	34
7 Závěr .....	35
8 Seznam použitých zdrojů .....	36
9 Seznam příloh .....	38

## Seznam použitých značek

$a$	Šířkový rozměr čepu	[mm]
$b$	Šířkový rozměr čepu	[mm]
$C_0$	Základní statická únosnost	[kN]
$d$	Průměr	[mm]
$f$	Součinitel smykového tření	[-]
$F_a$	Axiální síla ložiska	[kN]
$F_K$	Kritická síla pístu	[N]
$F_{mech}$	Síla vyvozená působením pojezdového mechanismu	[N]
$F_{hp}$	Síla vyvozená vlastní tíhou horní části pojezdového mechanismu	[N]
$F_{Nl}$	Zatěžující síla levé částí zařízení	[N]
$F_{Np}$	Zatěžující síla pravé částí zařízení	[N]
$F_{Nv}$	Výsledná zatěžující síla bez zatížení pojezdového mechanismu	[N]
$F_{Nvc}$	Výsledná zatěžující síla celková	[N]
$F_{ob}$	Maximální síla vyvozená obsluhou	[N]
$F_p$	Výsledná pojezdová síla	[N]
$F_{p1}$	Síla pneumatického válce	[N]
$F_r$	Radiální síla ložiska, Výsledná síla ramen	[kN, N]
$F_{r1}$	Síla ramene	[N]
$F_{Rv}$	Výsledná síla vyvozená působením obou ramen	[N]
$F_{sp}$	Síla vyvozená vlastní tíhou spodní části	[N]
$F_{u1}$	Upínací síla výkovku	[N]
$F_T$	Tlačná síla	[N]
$F_V$	Valivá síla	[N]



$F_{V\dot{Y}K}$	Síla vyvozená výkovkem	[N]
$g$	Tíhové zrychlení	$[ms^{-2}]$
$J$	Kvadratický moment průřezu	$[mm^4]$
$k_s$	Bezpečnost	[-]
$k_3$	Převodní součinitel koutového svaru	[-]
$k_4$	Převodní součinitel koutového svaru	[-]
$L$	kritická délka pístu	[mm]
$l$	Délka pojezdu	[mm]
$L_{10h}$	Trvanlivost ložiska	[hod]
$L_{10}$	Trvanlivost ložiska	[mil. ot]
$m_l$	Celková hmotnost levé části zařízení	[kg]
$M_k$	Kroutící moment	[Nmm]
$m_{mech}$	Hmotnost pojezdového mechanismu	[kg]
$M_{ol}$	Ohybový moment levé části zařízení	[Nm]
$m_{o\ mat}$	Množství ohřátého materiálu za směnu	[kg]
$M_{o\ MAX}$	Maximální ohybové napětí	[Nmm]
$M_{op}$	Ohybový moment pravé části zařízení	[Nm]
$M_{osv}$	Smykový moment svaru	[Nmm]
$m_p$	Celková hmotnost pravé části zařízení	[kg]
$m_{ps}$	Hmotnost pravé části zařízení	[kg]
$m_v$	Hmotnost výkovku	[kg]
$n_c$	Celkový počet otáček	$[min^{-1}]$
$n_s$	Délka směny	[min]
$n_{1v}$	Délka kování jednoho výkovku	[min]

$n_1$	Počet otáček při jednom pojezdu manipulátoru	$[\text{min}^{-1}]$
$o$	Obvod pojezdového kola	$[\text{mm}]$
$p$	Počet pojezdů	$[-]$
$p_{D1}$	Dovolený měrný tlak	$[\text{MPa}]$
$p_{D2}$	Dovolený měrný tlak	$[\text{MPa}]$
$P_0$	Ekvivaletní statické zatížení ložiska	$[\text{kN}]$
$R, R_{\text{výk}}$	Reakce	$[\text{MPa}]$
$R_e$	Mez kluzu	$[\text{MPa}]$
$R_k$	Poloměr kola	$[\text{mm}]$
$R_{\text{výk}}$	Reakční síla výkovku	$[\text{N}]$
$S$	Plocha průřezu ramene	$[\text{mm}^2]$
$s_0$	Součinitel statické bezpečnosti ložiska	$[-]$
$t$	Charakteristický rozměr svaru	$[\text{mm}]$
$x$	Počet vykovaných výkovků za směnu	$[-]$
$W_k$	Modul průřezu v krutu	$[\text{mm}^3]$
$W_o$	Modul průřezu v ohybu	$[\text{mm}^3]$
$\alpha$	Maximální dovolený sklon pojezdového vedení	$[\text{°}]$
$\beta$	Součinitel tloušťky koutového svaru	$[-]$
$\gamma$	Úhel sevření ramene s pneumatickým válcem v poloze sevření maximálního průměru výkovku	$[\text{°}]$
$\eta_L$	účinnost ložiska	$[-]$
$\sigma_{\text{DOV}}$	Dovolené napětí	$[\text{MPa}]$
$\sigma_o$	Ohybové napětí	$[\text{MPa}]$
$\sigma_{\text{red}}$	Redukované napětí svaru	$[\text{MPa}]$

$\sigma_t$	Tahové napětí	[MPa]
$\tau_D$	Dovolené smykové napětí	[MPa]
$\tau_{MAX}$	Maximální smykové napětí	[MPa]
$\tau_{\parallel}^{M_k}$	Smykové namáhání koutového svaru	[MPa]
$\tau_{\perp}^{M_o}$	Ohybové namáhání koutového svaru	[MPa]

# 1 Úvod

V bakalářské práci se zabývám návrhem pojízdného manipulátoru. Manipulátor bude sloužit pro manipulaci s výkovky pro firmu UNEX. Firma UNEX se zabývá výrobou důlních, dopravních a skladových zařízení. Dále výrobou výkovků, odlitků a svařovaných konstrukcí. Navrhované zařízení bude sloužit pro obsluhu kovacího lisu LZK 4000 od firmy ŠMERAL.

Jedná se o návrh manipulátoru pro manipulaci s rotačními ocelovými výkovky o maximální hmotnosti 40 kg a maximálním průměru 250 mm. Parametry jsou zadány výrobcem. Manipulátor má zejména zjednodušit výrobu výkovků větších rozměrů, kde nedostačuje lidská síla. Tím dojde ke zefektivnění výroby a rozšíření nabídky výkovků o větší hmotnosti.

Požadavkem je uchopovací zařízení ovládat pomocí pneumatických válců a ostatní pohyby manipulátoru budou vykonávány obsluhou stroje. Při konstrukci celého zařízení je nezbytné zachovat pevnost s ohledem na vykonávanou práci a prostředí, ve kterém bude zařízení fungovat. Cílem je navrhnout jednoduché zařízení, použít co nejvíce normalizovaných součástí. Tím dojde ke snížení nákladů na samotnou konstrukci, také na provoz a údržbu zařízení.

## 1.1 Stanovení cílů

1. Rešerše používaných manipulátorů v současné době
2. Rozbor ovládání manipulátoru v provozu
3. Návrh konstrukce manipulátoru
4. Výpočet zatěžujících sil a pevnostní kontrola vybraných strojních součástí
5. Kontrola vybrané součásti metodou MKP

## 2 Rešerše

V rešerši byl rozebrán současný stav některých nabízených průmyslových manipulátorů na domácím i světovém trhu.

### 2.1 Rešerše manipulátorů

#### PARTNER EQUO

Pneumatický sloupový manipulátor od firmy Dalmec s kloubovými rameny (obr. 1), díky široké nabídce příslušenství, lze použít pro mnoho aplikací. Zařízení může manipulovat s výrobky, které dosahují maximální hmotnosti 550 kg. Maximální vertikální zdvih zařízení je 2450 mm, maximální rádius otočení je 4000 mm a zvedací rychlost je 0,5 m/s. Pracovní tlak zařízení se pohybuje od 0,7 MPa do 0,8 MPa. Výhodou zařízení je zejména otáčení o 360° kolem vertikální osy pevné části sloupu, o 300° kolem osy otáčení ramene a možnost změny velikosti uchopovací síly a velká variabilita příslušenství. [4]



Obr. 1 – Manipulátor Parter Equo [1]

Na obrázku 2 je jedno z nabízeného příslušenství firmy Dalmec. Jedná se o pneumatický nástroj vybavený servopohonem umožňující otáčení o 180° a také naklápění rotačních součástí při manipulaci. [5]



Obr. 2 – Příslušenství manipulátoru Partner Equo [2]

### KOVACÍ MANIPULÁTOR QKK

ŽĎAS je tradiční česká firma založena v roce 1951. V současné době nabízí široký sortiment lisů, výkovků, ingotů, odlitků a také manipulátory zejména pro výkovky velkých rozměrů.

Manipulátor se používá k manipulaci s výkovky v pracovním prostoru lisu. Manipulátory se vyrábí s nosností od 3 do 35 tun. Individuálně i s větší nosností. Doposud byl největší vyrobený manipulátor s maximální nosností 100 tun.

Tělo tvoří dvě bočnice, které nesou skříň kleští (obr. 3). Součástí skříně je mechanismus otáčení kleští i jejich svírání. Všechny pohyby jsou zajištěny hydraulickým mechanismem, tudíž zařízení obsahuje i vlastní hydraulický pohon. Manipulátor umožňuje pohyb výkovku ve všech 3 souřadných osách, naklápět se kolem horizontální i vertikální osy a otáčet kolem podélné osy. Maximální rychlost pojezdu menších typů manipulátoru je 50 m/min a větších 40 m/min. [6]



Obr. 3 – Manipulátor QKK 100 [3]

## **PRŮMYSLOVÝ ROBOT IRB 4400-60/1.92**

AAB s.r.o. je světová společnost působící v České republice od roku 1992 zabývající se výrobou robotů a pohonů robotů. Dále se společnost zabývá elektrotechnickými výrobky a průmyslovou automatizací.

Průmyslový robot (obr. 4) se uplatňuje při manipulaci s materiálem, obsluze strojů, řezání a v mnoha dalších aplikacích. Vyznačuje se zejména rychlostí, přesností, flexibilitou a robustní konstrukcí, která je vhodná pro náročné výrobní prostředí, které je nevyhovující pro člověka. Maximální nosnost robota je 60 kg. Maximální zdvih činí 2 140 mm a maximální poloměr otáčení kolem svislé osy k podložce je 1 955 mm. [7]



Obr. 4 – Robotický manipulátor IRB 4400 [4]

## TELESKOPICKÝ MANIPULÁTOR JXS-TG D02

Pojízdný teleskopický manipulátor (obr. 5) od čínské společnosti Jilin Jiangji disponuje lehkou konstrukcí o celkové váze 30,7 kg vyrobený převážně z karbonových materiálů. Maximální nosnost je 3 kg. Manipulátor zejména díky dlouhému tělu se uplatňuje při manipulaci s nebezpečnými předměty jako jsou výbušniny. Maximální délka těla manipulátoru je až 6 000 mm a maximální nastavitelná výška je až 1 500 mm. [8]



Obr. 5 – Manipulátor JXS-TG-D02 [5]

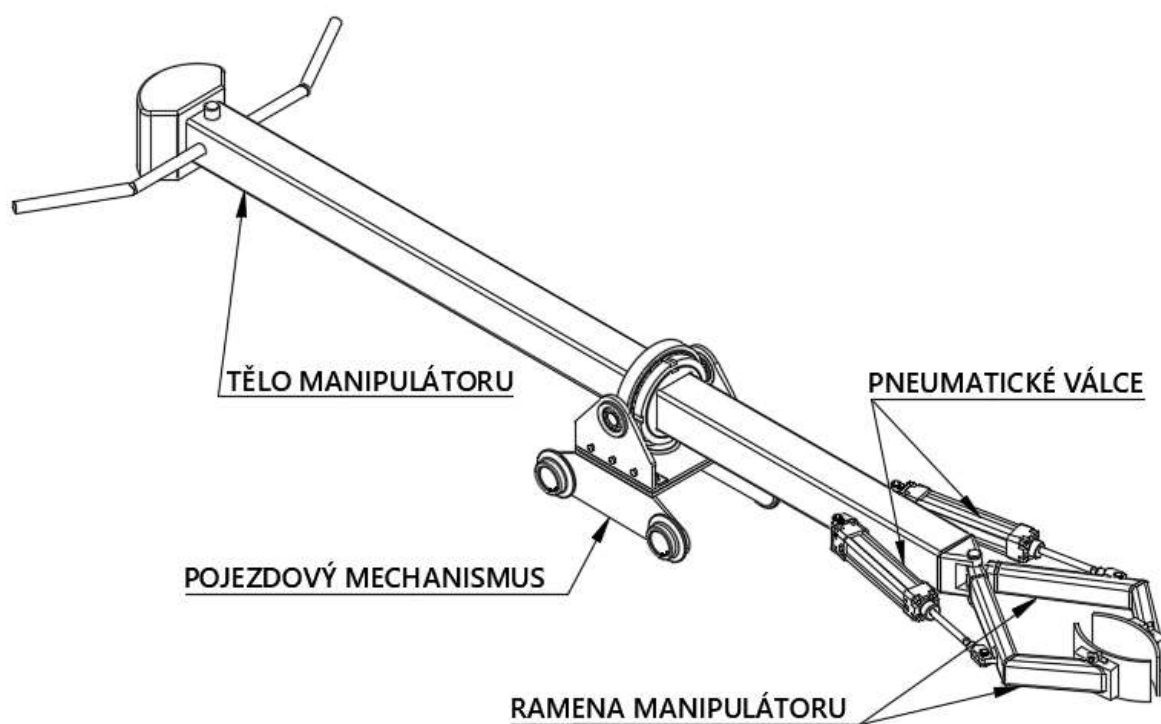


### **3 Rozbor ovládání manipulátoru**

Celý proces manipulace s výkovkem během kování je rozdělen do čtyř kroků:

1. Obsluha manipulátorem přijede k lisu, kde pomocí kleštin uchopí předehřátý výkovek na kovací teplotu přivedený z ohřívacího zařízení. Výkovek umístí do místa první kovací operace a odjíždí manipulátorem z kovacího prostoru lisu.
2. Obsluha opět přijíždí k lisu, výkovek uchopí, přemístí z první kovací operace do druhé a odjíždí manipulátorem z kovacího prostoru lisu.
3. Opakuje se proces jako ve druhém kroku, s rozdílem přemístění výkovku z druhé kovací operace do třetí.
4. Posledním krokem je odebrání a umístění hotového výkovku na sběrné místo vedle lisu. Celý postup se opakuje.

## 4 Návrh konstrukce manipulátoru



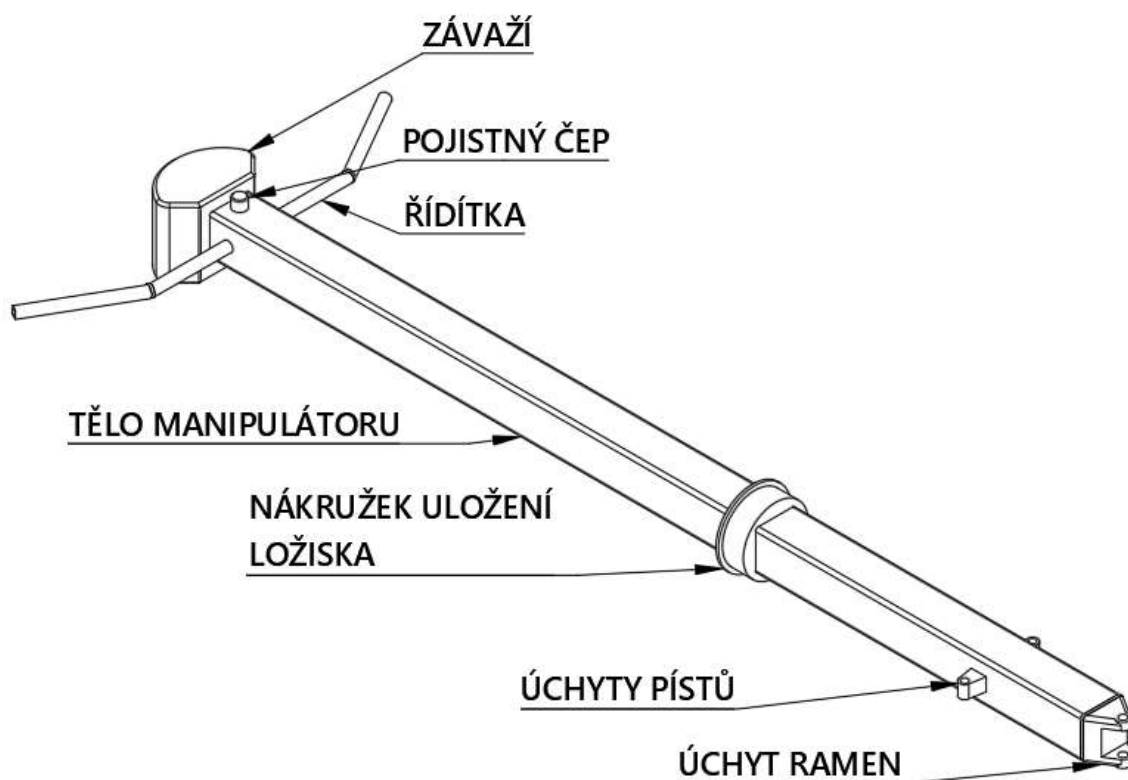
Obr. 6 – Základní popis zařízení

Konstrukce manipulátoru se skládá ze čtyř hlavních částí (obr. 6):

- těla manipulátoru,
- pojezdového mechanismu (podvozku),
- upínacích ramen s čelistmi,
- pneumatických válců.

V následujících kapitolách budou jednotlivé části detailně popsány.

## 4.1 Návrh těla manipulátoru



Obr. 7 – Popis těla manipulátoru

Na obrázku 7 je vidět konstrukce těla manipulátoru. Hlavní část tvoří profil čtvercového průřezu, ČSN EN 10 219 – 2, velikosti 80 x 3 mm a nese další komponenty. [9]

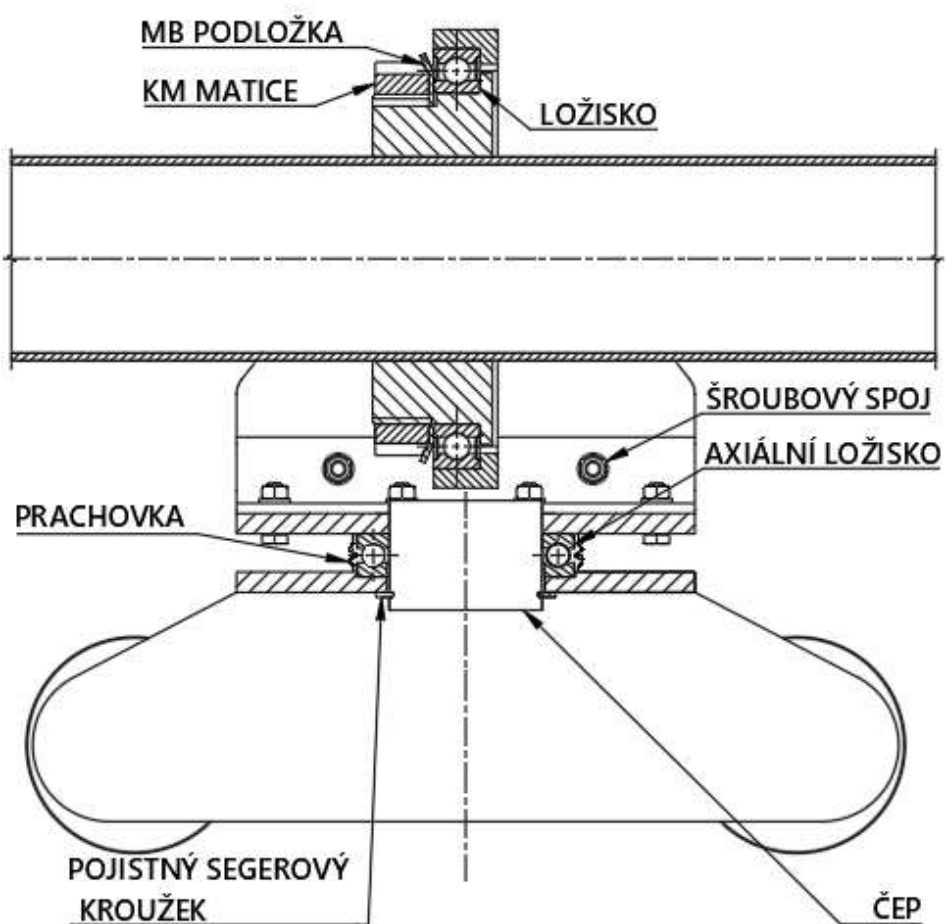
Do profilu těla je vloženo závaží, které je zajištěno čepem se závlačkou. Závaží slouží ke zmenšení vertikální síly obsluhy, kterou působí proti síle od vlastní tíhy výkovku.

K tělu jsou přivařeny řídítka, které jsou svařeny z bezešvých trubek, ČSN 42 6711, velikosti 20 x 2 mm a slouží k veškerému ovládání zařízení. [9]

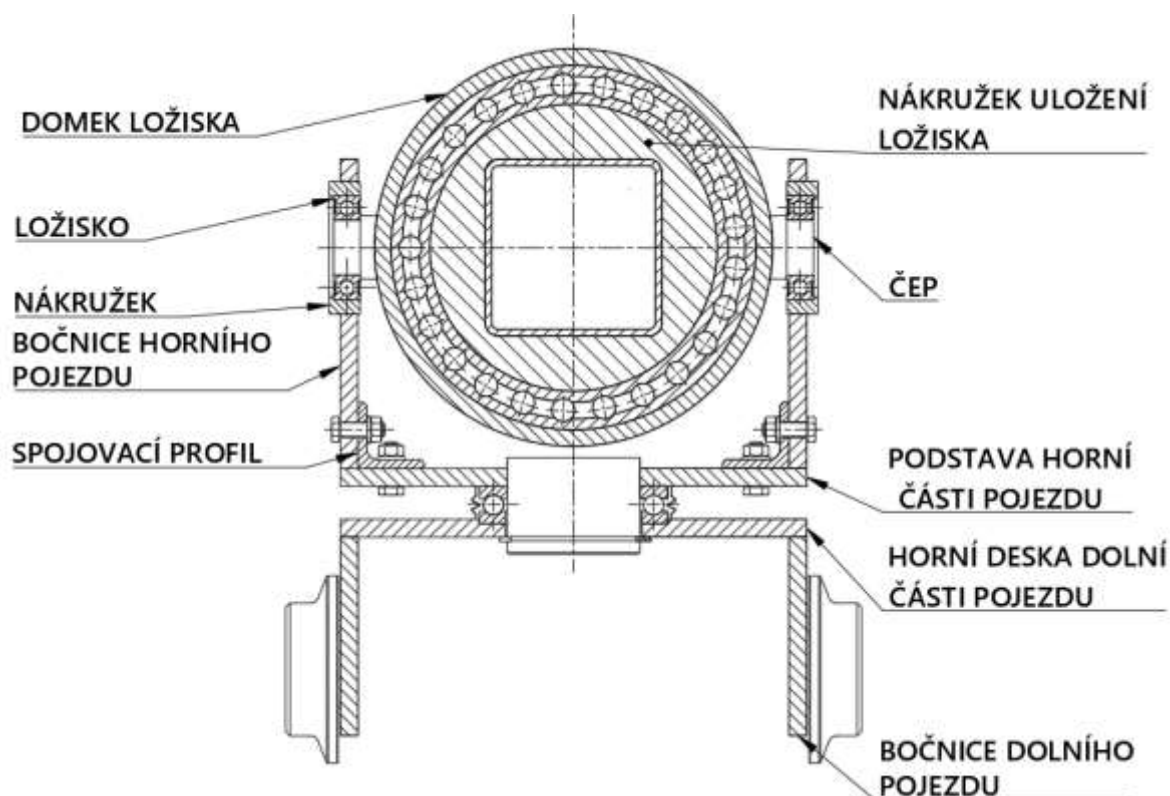
Nákrůžek je přivařen k tělu a slouží pro uložení ložiska, které je popsáno v kapitole 4.2.

Dále jsou k tělu přivařeny dva úchyty. První úchyt spojuje pneumatický válec s tělem pomocí čepu, který je popsán v kapitole 4.5 a druhý úchyt spojuje ramena s tělem, kde spoj je proveden pomocí čepu s hlavou, 16x100 A ČSN 02 2109 se závitem pro pojištění maticí o velikosti M16.

## 4.2 Návrh pojezdového mechanismu



Obr. 8 – Podélný řez pojezdového mechanismu



Obr. 9 – Příčný řez pojezdového mechanismu

Pojezdový mechanismus (obr. 8 a 9) je rozdělen na dvě části horní a dolní část pojezdu z důvodu otáčení manipulátoru kolem svislé osy kolmé na podložku zařízení.

Horní část pojezdu se skládá ze dvou bočnic. Obě bočnice jsou z plechu, ČSN EN 10 051 o tloušťce 6 mm s otvorem o velikosti 60 mm pro navaření nákrůžku, který slouží k uložení ložiska. [9]

Kuličková ložiska typu SKF W 6005 – 2RS1 jsou uloženy na čepích a v nákrůžcích. Součástí je kontaktní těsnění z nitrilové pryže na obou stranách ložiska, které zabrání vniknutí prachu do ložiska. Těsnění se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení a trvalé deformaci. Těsnění snáší rozsah teplot od -10 °C do +100 °C. [11]

Dále jsou do každé bočnice vyvrtány 3 otvory o průměru 7 mm sloužící k sešroubování bočnice s podstavou přes úhelník typu L, ČSN EN 10056 o rozměru 30x30x4. [9]  
K sešroubování jsou použity šrouby s šestihrannou hlavou, ISO 4014 M6 x 20. [10]

Tab. 1 – Parametry ložiska SKF W 6005 – 2RS1

Typ ložiska	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C <sub>0</sub> [kN]	P <sub>u</sub> [kN]
SKF W 6005 – 2RS1	25	47	12	8,71	5,85	0,25

Podstavou horní části pojezdového mechanismu je výpalek z plechu ČSN EN 10 051 o tloušťce 6 mm. [9] Do podstavy jsou vyvrtány 4 otvory o průměru 7 mm, které slouží ke spojení s bočnicí. K sešroubování slouží šrouby se šestihrannou hlavou, ISO 4014 M6 x 20. [10] Dále je v podstavě otvor o velikosti 60 mm. Do otvoru je vložen čep, který je k horní podstavě přivařen.

Na čepu je nasunuto axiální kuličkové ložisko typu SKF 51112, které plní funkci otáčení kolem svislé osy. Ložisko se opírá o horní desku dolní části pojezdu a je těsněno pomocí prachovky. Čep je zajištěn pomocí segerového pojistného kroužku. [11]

Tab. 2 – Parametry ložiska SKF 51108

Typ ložiska	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C <sub>0</sub> [kN]	P <sub>u</sub> [kN]
SKF 51112	40	60	13	25,5	63	2,32

Kuličkové ložisko typu SKF 61826 – 2RS1, je uloženo na nákrůžku uložení ložiska. Ložisko je pojištěno pomocí podložky SKF MB 26, matice SKF KM 26 a plní funkci otáčení kolem podélné osy manipulátoru. Součástí ložiska je těsnění, které je shodné s těsněním ložiska typu SKF W 6005 – 2RS1. [11]

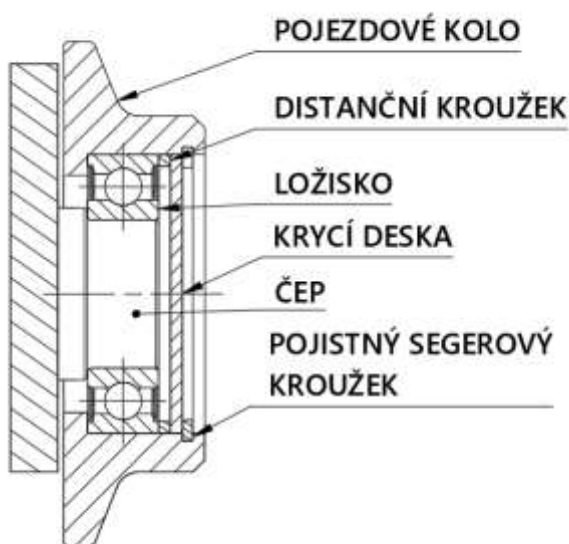
Tab. 3 – Parametry ložiska SKF 61826 – 2RS1

Typ ložiska	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C <sub>0</sub> [kN]	P <sub>u</sub> [kN]
SKF 61826 – 2RS1	130	165	18	37,7	43	1,6

Na ložisku je nalisován domek, ke kterému jsou přivařeny dva čepy, sloužící k uložení ložisek, které zajistí pohyb výkovku nahoru a dolů.

Dolní část pojezdového mechanismu se skládá ze dvou bočnic a horní desky. Bočnice a deska jsou výpalky z plechu, ČSN EN 10 051 o tloušťce 6 mm. [9] Horní deska je k bočnicím přivařena. Díra v desce o průměru 60 mm slouží k nasunutí čepu horního pojezdu.

Ke každé bočnici dolního pojezdu jsou přivařeny dva čepy (obr.10), na kterých jsou uložena pojízdná kola s ložisky.

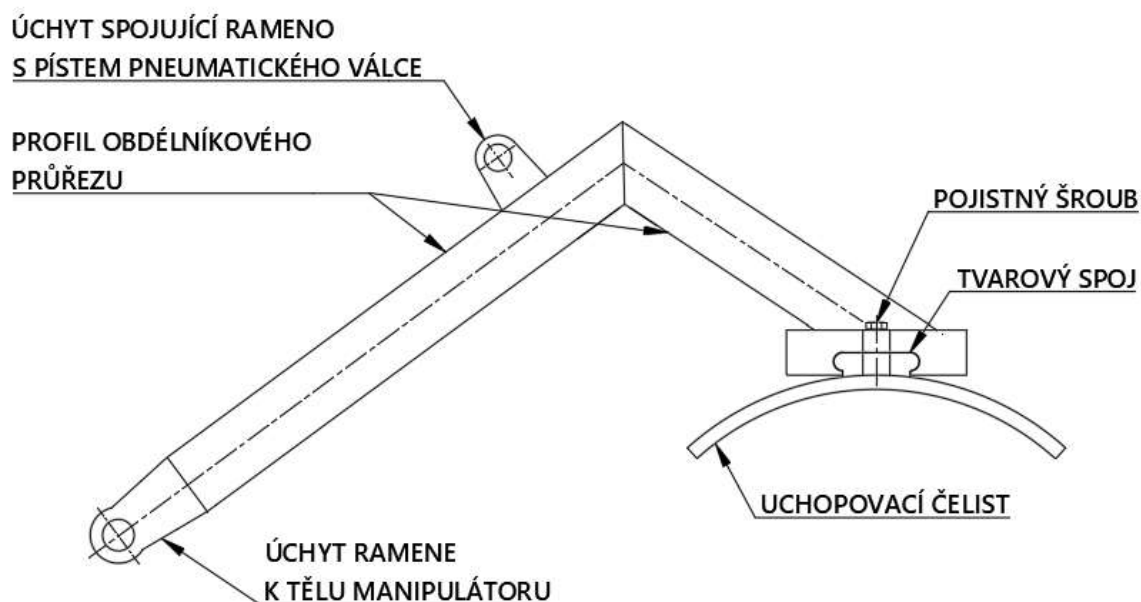


Obr. 10 – Detail uložení kola

Každé kolo je uloženo na kuličkovém ložisku typu SKF W 6005 – 2RS1. Součástí ložiska je těsnění, které je shodné s těsněním ložiska typu SKF W 6005 – 2RS1. Ložiska zajistí pohyb dopředu a zpět. Ložiska jsou na čepy nalisovány. [11]

Kola jsou pojištěna proti posuvu pomocí segerového pojistného kroužku do díry, DIN 472, pro průměr otvoru 47 mm. [12] Mezi ložiskem a pojistným kroužkem je vložen distanční kroužek a krycí deska, která zamezí vniknutí nečistot do uložení.

### 4.3 Návrh pojezdového mechanismu



Obr. 11 – Popis ramene s uchopovací čelistí

Konstrukce ramen s čelistmi je zobrazena na obr. 11. a je tvořena profily obdélníkového průřezu, ČSN EN 10219-2, tloušťky 4 mm. [9]

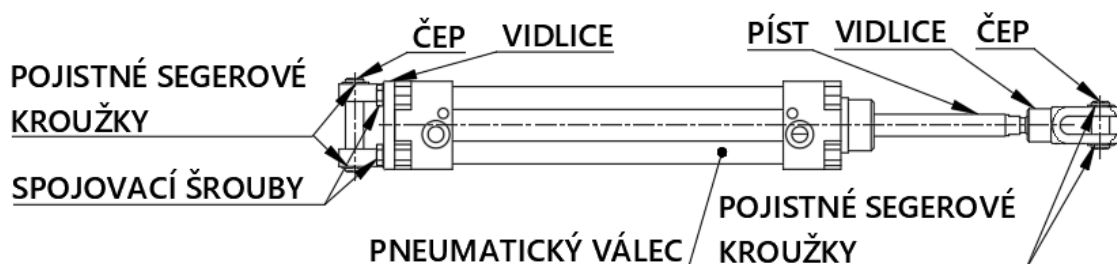
K ramenům jsou přivařeny úchyty spojující ramena s tělem a úchyty spojující písty pneumatických válců s rameny.

Spoj ramen spolu s čelistmi je proveden pomocí tvarového spoje, který zajistí rychlou a bezpečnou výměnu čelistí, pokud dojde ke změně průměru kovaného výkovku. Čelisti jsou pojištěny proti vypadnutí při otáčení výkovku kolem podélné osy pomocí šroubu ISO 4017 M5x20 [13]

Čelisti jsou z plechu, ČSN EN 10 051 o tloušťce 4 mm, který je ohnut dle průměru výkovku. Tvarový profil pro spojení s rameny je k čelistem přivařen. [9]



## 4.4 Návrh pneumatického válce



Obr. 12 – Popis pneumatického válce

K uchopení výkovku slouží ramena s čelistmi, ovládané pomocí dvou pneumatických jednočinných válců od společnosti Stránský a Petržák s průměrem pístu 32 mm. Písty vyvodí sílu, kterou působí čelisti na výkovek a zajistí tím bezpečnou manipulaci s výkovkem. Pohonným médiem je stlačený vzduch o minimální velikosti 0,15 MPa a maximální velikosti 1 MPa. Pracovní velikost tlaku je 0,6 MPa. Velikost síly vysouvající tyče je při tlaku 0,6 MPa je 482 N. O zpětný chod se stará předepjatá pružina. Maximální zdvih válce je 150 mm. Celková hmotnost válce s připojovacím příslušenstvím je 0,96 kg. [14]

Pneumatické válce jsou vybaveny vidlicemi od stejné společnosti jako pneumatické válce a slouží ke spojení válce s tělem manipulátoru. [14] Vidlice jsou k válci přišroubované pomocí čtyř šroubů, ISO 4017 o velikosti M6x20. [20] Samotný spoj je realizován pomocí čepu 10 x 51 A ISO 2340. Čep je zajištěn segerovými pojistnými kroužky, DIN 471 o průměru 10 mm. [12]

Spojení ramena s pístem pneumatického válce je realizován pomocí vidlice našroubované na pístní tyč se závitem M10 x 1,25. [14] Samotný spoj je realizován pomocí čepu 10 x 25 A ISO 2340. Čep je zajištěn segerovými pojistnými kroužky, DIN 471 o průměru 10 mm. [12]

## 5 Pevnostní a návrhové výpočty

V následujících kapitolách byly provedeny pevnostní výpočty vybraných součástí.

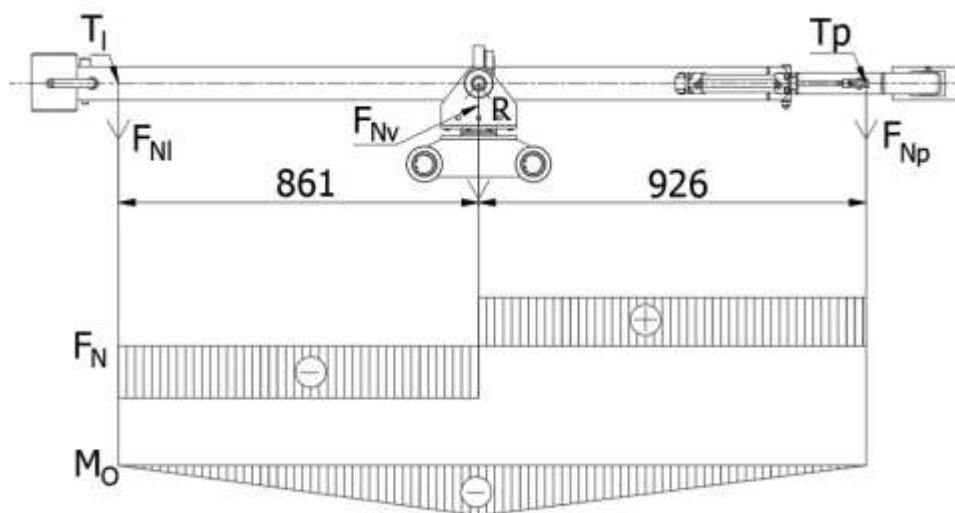
### 5.1 Kontrola rovnováhy momentů

K rovnováze manipulátoru je nezbytné, aby levá a pravá část byla v rovnováze.

Na levé straně manipulátoru působí síla vyvolaná vlastní tíhou levé části zařízení spolu s působením obsluhy na zařízení ve svislém směru o maximální velikosti  $F_{ob} = 294 \text{ N}$ .

Na pravé straně působí síla vyvolaná vlastní tíhou pravé části manipulátoru spolu s vlastní tíhou výkovku o maximální hmotnosti  $m_v = 40 \text{ kg}$

Potřebné hmotnosti a těžiště byli zjištěny v programu Autodesk Inventor Professional 2019.



Obr. 13 – Znázornění zatížení a průběhu vnitřních účinků

#### Celková hmotnost levé části

$$m_l = 28,9 \text{ kg}$$

#### Zatěžující síla levé části

$$F_{Nl} = F_{ls} + F_{ob} = m_l \cdot g + F_{ob} = 28,9 \cdot 9,81 + 294 = 577,8 \text{ N}$$

### **Celková hmotnost pravé části**

$$m_p = m_{ps} + m_v = 14,6 + 40 = 54,6 \text{ kg}$$

### **Zatěžující síla pravé části**

$$F_{Np} = m_p \cdot g = 54,6 \cdot 9,81 = 535,6 \text{ N}$$

### **Výsledná zatěžující síla**

$$F_{Nv} = R = F_{Nl} + F_{Np} = 577,8 + 535,6 = 1113,4 \text{ N}$$

### **Ověření rovnosti momentů**

$$M_{ol} = M_{op} \Rightarrow F_{Nl} \cdot 0,9 = F_{Np} \cdot 0,97 \quad (5.1)$$

$$577,8 \cdot 0,9 = 535,6 \cdot 0,97 \rightarrow 520 \text{ Nm} = 520 \text{ Nm}$$

Podmínka je splněna.

## **5.2 Výpočet posouvající síly při manipulaci maximálně zatíženého zařízení**

Pro pohyb zařízení dopředu a vzad je nezbytné překonat odpor valení ocelových kol valených po kolejnici a úhel maximálního sklonu nepřesnosti pojezdového vedení, který byl zvolen.

### **Výsledná svislá zatěžující síla**

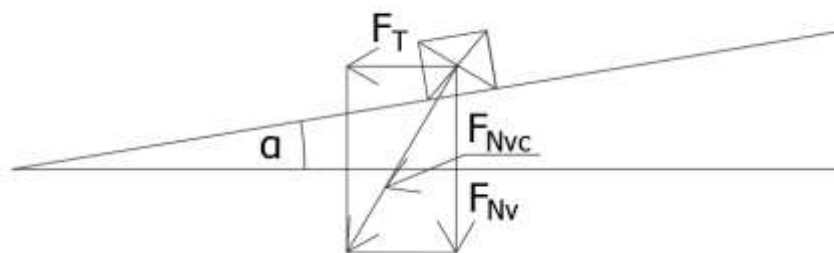
$$F_{Nv} = F_{Nl} + F_{Np} + F_{mech} = 577,8 + 536,6 + 171,7 = 1286 \text{ N}$$

### **Zatěžující síla pohybového mechanismu**

$$F_{mech} = m_{mech} \cdot g = 17,5 \cdot 9,81 = 171,7 \text{ N}$$

### Výpočet posouvající síly s ohledem na maximální nerovnost pojezdového vedení

$\alpha = 1,5^\circ$  – maximální dovolený sklon nepřesnosti pojezdového vedení



Obr. 14 – Znázornění sil působících při posuvu po vedení s maximální nepřesností sklonu

$$\sin \alpha = \frac{F_T}{F_{Nv}} \rightarrow F_t = \sin \alpha \cdot F_{Nv} = \sin 1,5^\circ \cdot 1286 = 33,7 \text{ N}$$

### Síla potřebná k překonání valivého odporu pojezdových kol

$\xi$  – rameno valivého odporu. Voleno  $\xi = 0,03 \text{ mm}$ , pro valení ocelového kola po ocelové kolejnici. [15]

$R_k$  – poloměr kola.  $R_k = 42,5 \text{ mm}$

$\eta_L$  – účinnost ložisek. Odhad účinnosti  $\eta_L = 0,97$

$$F_V = \frac{4\xi \cdot F_{Nv} \cdot 4\eta_L}{R_k} = \frac{4 \cdot 0,03 \cdot 1286 \cdot 4 \cdot 0,97}{42,5} = 14,1 \text{ N} \quad (5.2)$$

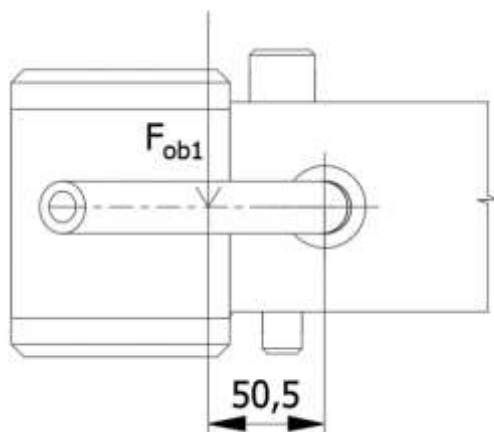
### Výsledná pojezdová síla

$$F_p = F_t + F_V = 33,7 + 14,1 = 47,8 \text{ N}$$

Síly při otáčení či rotaci lze zanedbat, protože tyto úkony budou probíhat v poloze, kdy manipulátor bude mít nulovou rychlost pojezdu a za použití valivých ložisek budou síly minimální.

### 5.3 Kontrola koutového svaru řídítek

Svar je namáhán kombinovaným zatížením od svislé síly krutem a od posouvající síly ohybem.



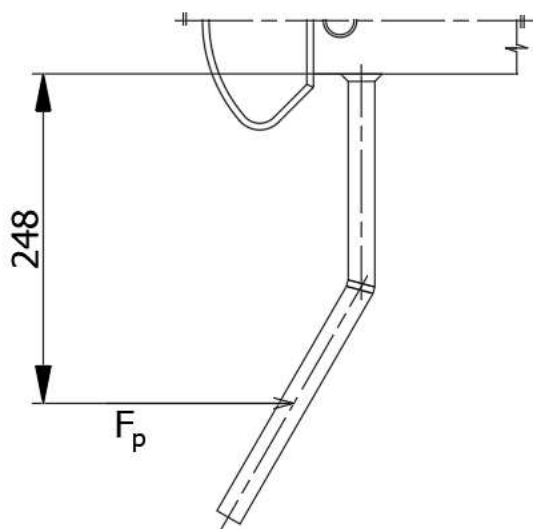
Obr. 15 – Zatížení svaru svislou silou

#### Svislá síla zatěžující svar

$$F_{ob1} = \frac{F_{ob}}{2} = \frac{294}{2} = 147 \text{ N}$$

#### Kroutící moment

$$M_k = F_{ob1} \cdot 50,5 = 147 \cdot 50,5 = 7423,5 \text{ Nmm}$$



Obr. 16 – Zatížení svaru posouvající silou

### Ohybový moment

$$M_o = \frac{F_p}{2} \cdot 248 = \frac{47,8}{2} \cdot 248 = 5927,2 \text{ Nmm}$$

### Smykové namáhání $\tau_{\parallel}^{M_k}$

$$\tau_{\parallel}^{M_k} = \frac{M_k}{W_{ks}} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d}{\frac{d}{2} + a} [(d+2a)^4 - d^4]} = \frac{7423,5}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{20}{\frac{20}{2} + 3} [(20+2 \cdot 3)^4 - 20^4]} = 3,3 \text{ MPa} \quad (5.3)$$

### Ohybové namáhání $\tau_{\perp}^{M_o}$

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{W_{os}} = \frac{M_o}{\frac{\pi}{64} \cdot \frac{d}{\frac{d}{2} + a} [(d+2a)^4 - d^4]} = \frac{5927,2}{\frac{\pi}{64} \cdot \frac{20}{\frac{20}{2} + 3} [(20+2 \cdot 3)^4 - 20^4]} = 5,3 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

### Součinitel tloušťky koutového svaru

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,173$$

### Výsledně redukované napětí

$k_3, k_4$  – převodní součinitele koutového svaru. Voleno  $k_3 = 0,75, k_4 = 0,65$  [1]

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{M_o}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}^{M_k}}{k_4}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{5,3}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{3,3}{0,65}\right)^2} = 8,7 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

### Dovolené napětí

$R_e$  – mez kluzu materiálu 11 353.1.  $R_e = 235 \text{ MPa}$  [18]

$k_s$  – bezpečnost svaru. Voleno  $k_s = 2$

$$\sigma_{DOV} = \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} = 1,173 \cdot \frac{235}{2} = 132 \text{ MPa}$$

### Ověření podmínky

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{DOV} \rightarrow 8,7 \leq 132 - \text{podmínka je splněna}$$

Pokud dojde k ovládní stroje pouze pomocí jedné rukojeti, takové zatížení neohroží svar. Dovolené napětí je mnohokrát větší než skutečné.

## 5.4 Kontrola ohybového napětí profilu těla

Síly  $F_{Ni}$  a  $F_{Np}$  způsobují shodný ohybový moment. Jelikož momenty od obou sil jsou si rovny, můžeme uvažovat maximální ohybové namáhání pouze z jedné strany.

Pro výpočet charakteristického průřezového modulu v ohybu byl použit online kalkulátor. [16]

$$W_o = 22\,861\,mm^3$$

### Výpočet ohybového napětí

$R_e$  – mez kluzu oceli 11 375.  $R_e = 235\,MPa$  [17]

$k_s$  – bezpečnost v ohybu. Volena  $k_s = 2,5$ .

$M_{o\,MAX}$  – maximální ohybový moment.  $M_{o\,MAX} = 520\,Nm$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \frac{R_e}{k_s} \rightarrow \frac{520\,000}{22\,861} \leq \frac{235}{2,5} \rightarrow 22,8\,MPa \leq 94\,MPa \rightarrow \text{podmínka je splněna} \quad (5.6)$$

## 5.5 Kontrola ložisek

V této kapitole budou kontrolovány jednotlivá ložiska staticky z důvodu nízkých otáček i nízkého zatížení ložisek.

### 5.5.1 Kontrola ložiska SKF W 6005 – 2RS1

#### Ekvivalentní statické zatížení

$P_0$  – ekvivalentní statické zatížení ložiska [ $kN$ ]

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a = 0,6 \cdot 0,557 + 0,5 \cdot 0 = 0,33\,kN$$

$$F_r = \frac{R}{2} = \frac{1113,4}{2} = 556,7\,N = 0,557\,kN$$

#### Statická kontrola ložiska

$s_0$  – součinitel statické bezpečnosti. Volen  $s_0 \geq 1,5$

$C_0$  – základní statická únosnost [ $kN$ ]

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{5,85}{0,33} = 17,8 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.7)$$

### 5.5.2 Kontrola axiálního ložiska SKF 51108

#### Ekvivalentní statické zatížení

$F_{hp}$  – síla od vlastní tíhy horní části pojezdu

$$F_{hp} = m_{hp} \cdot g = 9,5 \cdot 9,81 = 93 \text{ N} = 0,093 \text{ kN}$$

$$F_a = R + F_{hp} = 1,113 + 0,093 = 1,21 \text{ kN}$$

$$P_0 = F_a = 1,21 \text{ kN}$$

#### Statická kontrola ložiska

$s_0$  – součinitel statické bezpečnosti. Volen  $s_0 \geq 1,5$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{63}{1,21} = 52,1 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.8)$$

### 5.5.3 Kontrola ložiska SKF 61826 – 2RS1

#### Ekvivalentní statické zatížení

$$F_r = R = 1113,4 \text{ N} = 1,1 \text{ kN}$$

$$F_a = F_p = 47,8 \text{ N} = 0,048 \text{ kN}$$

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a = 0,6 \cdot 1,1 + 0,5 \cdot 0,048 = 0,68 \text{ kN}$$

#### Statická kontrola ložiska

$s_0$  – součinitel statické bezpečnosti. Volen  $s_0 \geq 1,5$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{43}{0,68} = 63,2 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.9)$$

### 5.5.4 Kontrola ložiska SKF W 6005– 2RS1

#### Ekvivalentní statické zatížení

$F_{sp}$  – síla od vlastní tíhy spodní části pojezdu

$$F_{sp} = m_{hp} \cdot g = 8,5 \cdot 9,81 = 83 \text{ N} = 0,083 \text{ kN}$$

$$F_r = (R + F_{hp} + F_{sp})/4 = (1,1 + 0,093 + 0,083)/4 = 0,32 \text{ kN}$$

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a = 0,6 \cdot 0,32 + 0,5 \cdot 0 = 0,2 \text{ kN}$$



### Statická kontrola ložiska

$s_0$  – součinitel statické bezpečnosti. Voleb  $s_0 \geq 1,5$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{5,85}{0,2} = 29,3 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (5.10)$$

### Určení otáček ložiska

$m_{o\ mat}$  – hmotnost ohřátého materiálu indukční peci za směnu.  $m_{o\ mat} = 9000\ kg$

$n_s$  – délka směny.  $n_s = 450\ min$

$m_v$  – hmotnost kovaného materiálu.  $m_v = 40\ kg$

$x_v$  – počet vykováných výkovků za směnu:

$$x_v = \frac{m_{mat}}{m_{km}} = \frac{9000}{40} = 225\ \text{výkovků}$$

$n_{1v}$  – délka kování jednoho výkovku:

$$n_{1v} = \frac{n_s}{x_v} = \frac{450}{225} = 2\ min$$

$l$  – délka dráhy pojezdu.  $l = 1000\ mm$

Obvod pojezdového kola:

$$o = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 42,5 = 267\ mm$$

$n_1$  – počet otáček při jednom přisunutí manipulátoru do pracovní pozice:

$$n_1 = \frac{l}{o} = \frac{1000}{267} = 3,7\ min^{-1}$$

$n_c$  – celkový počet otáček (uvažuji pouze polovinu procesu kování)

$p$  – počet pojezdů.  $p = 4$

$$n_c = p \cdot n_1 = 4 \cdot 3,7 = 15\ min^{-1}$$

### Výpočet trvanlivosti ložiska:

$$L_{10} = \left(\frac{C_0}{P_0}\right)^3 = \left(\frac{5,85}{0,2}\right)^3 = 25\ 025\ mil.\ ot \quad (5.11)$$

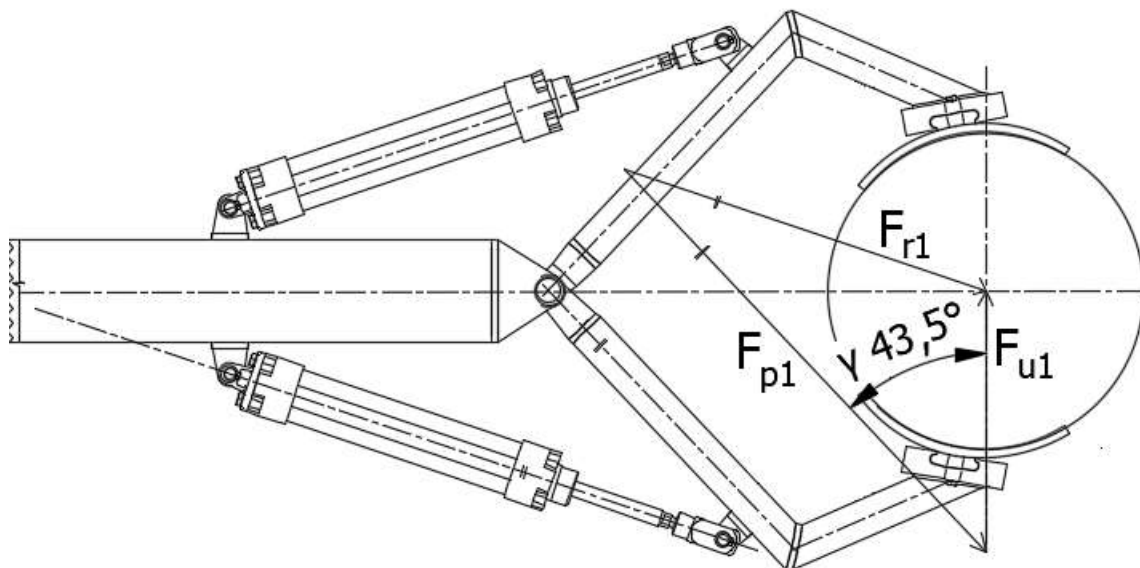
$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_c} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 15} \cdot 25\ 025 = 27\ 805\ 781\ hod. \quad (5.12)$$

## 5.6 Výpočet uchopovací síly výkovku

### Síla upnutí výkovku

Statický koeficient pro smykové tření ocel-ocel je  $f_o = 0,15$  [19]

$$F_{u1} = m \cdot g \cdot f \cdot 2 = 40 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot 2 = 117,7 \text{ N}$$



Obr. 17 – Znázornění sil při upnutí výkovku

### Síla pístu

$$\cos \gamma = \frac{F_{u1}}{F_{p1}} \rightarrow F_{p1} = \frac{F_{u1}}{\cos \gamma} = \frac{117,7}{\cos 43,5} = 162,3 \text{ N}$$

### Kritická síla pístu

$J$  – kvadratický moment průřezu.  $J = 169,6 \text{ mm}^4$ . [16]

$k$  – součinitel bezpečnosti. Zvoleno  $k = 4$ . [14]

$L$  – kritická délka je rovna dvojnásobku zdvihu pístu.  $L = 300 \text{ mm}$ .

$$F_K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L^2 \cdot k} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 169,6}{300^2 \cdot 4} = 976 \text{ N [14]} \quad (5.13)$$

### Ověřující podmínka

$$F_{u1} \leq F_K \rightarrow 117,7 \leq 976 \rightarrow \text{podmínka splněna}$$

### Síla působící v rameni

$$\sin \beta = \frac{F_{r1}}{F_{p1}} \rightarrow F_{r1} = \sin \beta \cdot F_{p1} = \sin 43,5^\circ \cdot 117,7 = 81 \text{ N}$$

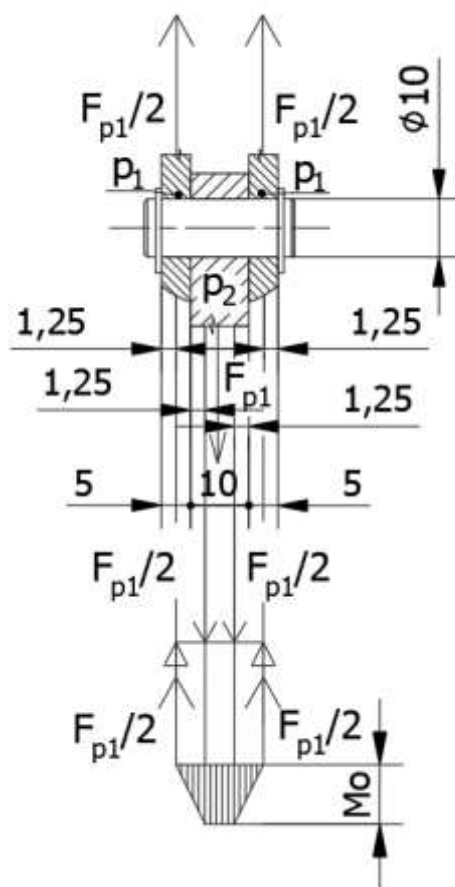
### Výsledná síla ramen

$$F_r = F_{r1} + F_{r1} = 81 + 81 = 162 \text{ N}$$

## 5.7 Kontrola čepů

V této kapitole budou jednotlivé čepy kontrolovány na otlacení a stříh. Zatěžující síly byly vypočítány v kapitole 5.6.

### 5.7.1 Kontrola čepu spojení těla s pístem pneumatického válce



Obr. 18 – Zjednodušený výpočtový model čepu spojující píst s ramenem

### Smykové napětí

$\tau_D$  – dovolené smykové napětí pro materiál 11 373.  $\tau_D = 50 \text{ MPa}$  [1]

$$\tau_{MAX} = \frac{16 \cdot F_{p1}}{3 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \tau_D \rightarrow \frac{16 \cdot 162,3}{3 \cdot \pi \cdot 10^2} = 2,8 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.14)$$

### Kontrola měrných tlaků

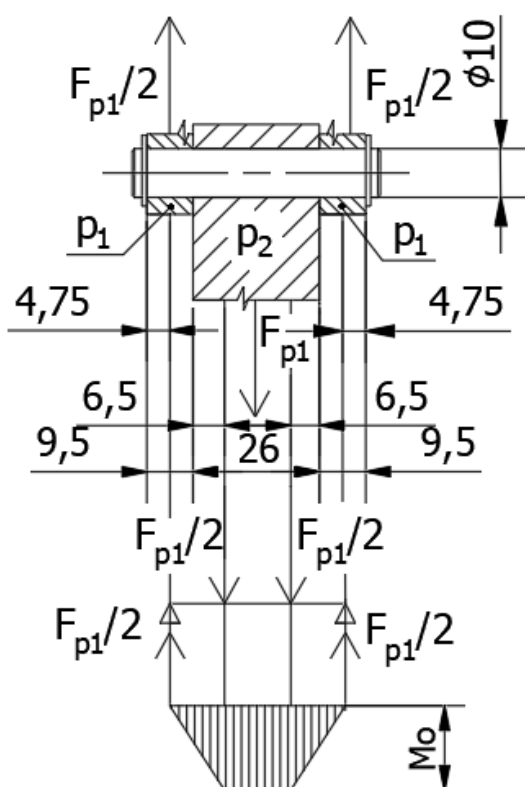
$p_{D1}$  – dovolený tlak.  $p_{D1} = 20 \text{ MPa}$  [1]

$p_{D2}$  – dovolený tlak.  $p_{D2} = 100 \text{ MPa}$  [1]

$$p_1 = \frac{F_{p1}}{d \cdot a} \leq p_{D1} \rightarrow \frac{162,3}{10 \cdot 10} = 1,6 \text{ MPa} \leq 20 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.15)$$

$$p_2 = \frac{F_{p1/2}}{d \cdot b} \leq p_{D1} \rightarrow \frac{\frac{162,3}{2}}{10 \cdot 5} = 1,6 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.16)$$

### 5.7.2 Kontrola čepu spojení pneumatického válce s tělem manipulátoru



Obr. 19 – Zjednodušený výpočtový model čepu spojující píst s tělem

### Kontrola na smyk

$\tau_D$  – dovolené smykové napětí pro materiál 11 373.  $\tau_D = 50 \text{ MPa}$  [1]

$$\tau_{MAX} = \frac{16 \cdot F_{p1}}{3 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \tau_D, \frac{16 \cdot 162,3}{3 \cdot \pi \cdot 10^2} = 2,8 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.17)$$

### Kontrola měrných tlaků

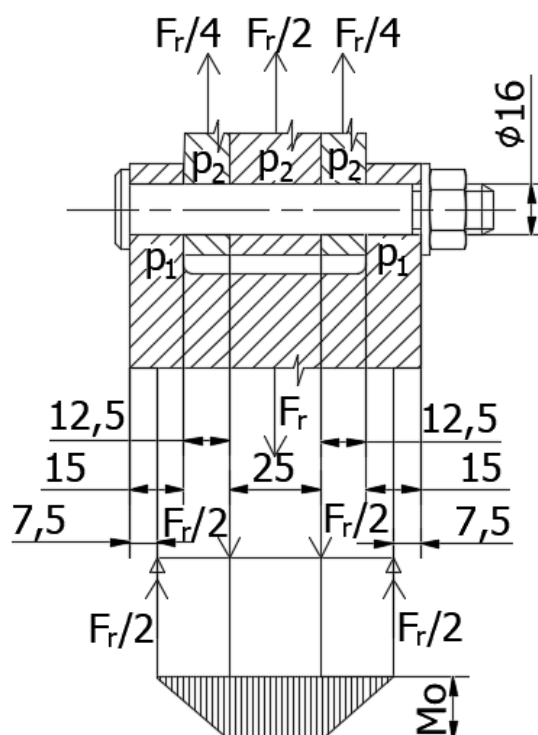
$p_{D1}$  – dovolený tlak.  $p_{D1} = 20 \text{ MPa}$  [1]

$p_{D2}$  – dovolený tlak.  $p_{D2} = 100 \text{ MPa}$  [1]

$$p_1 = \frac{F_{p1}}{d \cdot a} \leq p_{D1} \rightarrow \frac{162,3}{10 \cdot 26} = 0,6 \text{ MPa} \leq 20 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.18)$$

$$p_2 = \frac{F_{p1/2}}{d \cdot b} \leq p_{D2} \rightarrow \frac{\frac{162,3}{2}}{10 \cdot 9,5} = 0,9 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.19)$$

### 5.7.3 Kontrola čepu spojení ramen s tělem manipulátoru



Obr. 20 – Zjednodušený výpočtový model čepu spojující ramena s tělem

### Kontrola na smyk

$\tau_D$  – dovolené smykové napětí pro materiál 11 373.  $\tau_D = 50 \text{ MPa}$  [1]

$$\tau_{MAX} = \frac{16 \cdot F_r}{3 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \tau_D, \quad \frac{16 \cdot 162}{3 \cdot \pi \cdot 16^2} = 1,1 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.20)$$

## Kontrola měrných tlaků

$p_{D1}$  – dovolený tlak.  $p_{D1} = 20 \text{ MPa}$  [1]

$p_{D2}$  – dovolený tlak.  $p_{D2} = 100 \text{ MPa}$  [1]

$$p_1 = \frac{F_r}{a \cdot a} \leq p_{D1} \rightarrow \frac{162}{16 \cdot 50} = 0,2 \text{ MPa} \leq 20 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.21)$$

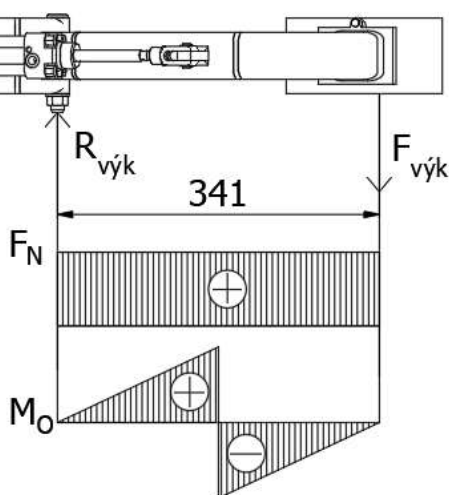
$$p_2 = \frac{F_r/2}{a \cdot b} \leq p_{D1} \rightarrow \frac{\frac{162}{2}}{16 \cdot 15} = 0,34 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna} \quad (5.22)$$

## 5.8 Kontrola ohybového napětí profilu ramene

Síla  $F_{\text{výk}}$  vzniká působením vlastní tíhy výkovku a způsobuje ohybový moment na rameni, které je znázorněno na obrázku 21.

Pro výpočet charakteristického průřezového modulu v ohybu byl použit online kalkulátor. [16]

$$W_o = 7\,067 \text{ mm}^3$$



Obr. 21 – Znázornění průběhu posouvajících sil a ohybových momentů

### Výpočet ohybového napětí

Re – mez kluzu oceli 11 375. Re = 235 MPa [17]

$k_s$  – bezpečnost v ohybu. Volena  $k_s = 2,5$ .

$$M_{o\ MAX} = F_{výk} \cdot 341 = m_v \cdot g \cdot 341 = 40 \cdot 9,81 \cdot 341 = 133\ 808\ Nmm$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \frac{R_e}{k_s} \rightarrow \frac{133\ 808}{7\ 067} \leq \frac{235}{2,5} \rightarrow 18,9\ MPa \leq 94\ MPa \rightarrow \text{podmínka je splněna} \quad (5.23)$$

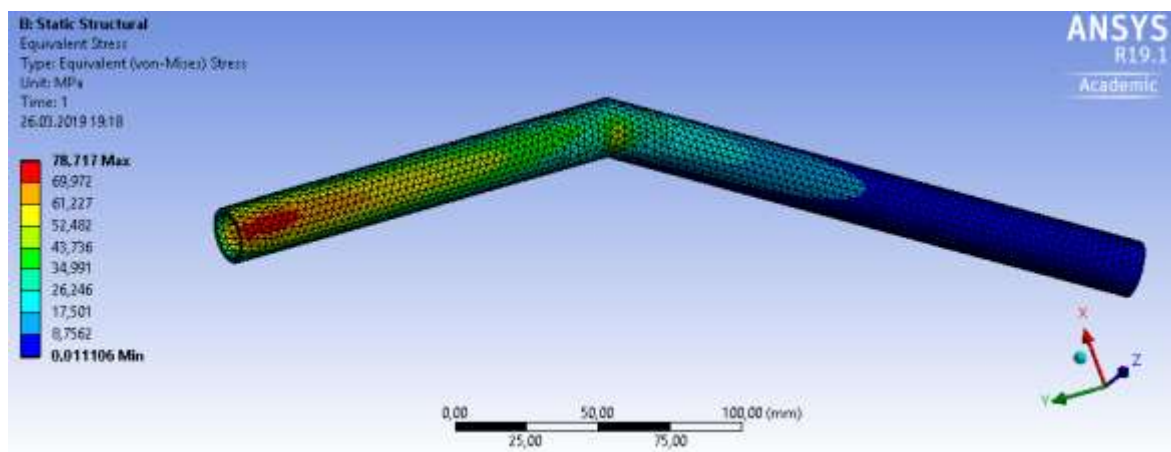
### Výpočet tahového napětí

S – plocha profilu ramene.  $S = 535\ mm^2$ , zjištěno v programu Autodesk Inventor Professional 2019.

$$\sigma_t = \frac{F_{p1}}{S} = \frac{162,3}{535} = 0,3\ MPa \rightarrow \text{vzhledem k nízkému tahovému napětí od pístu, lze napětí zanedbat.}$$

## 6 Úloha MKP

Navržená řídítka manipulátoru byla zkontrolována v programu ANSYS Workbench. Bylo zjišťováno maximální napětí. Model byl do výpočtového programu nainportován z programu Autodesk Inventor Professional 2019.



Obr. 22 – Průběh napětí v jedné části řídítek

### Zjištěné maximální napětí

Maximální napětí je  $\sigma_{MAX} = 78,7 \text{ MPa}$

### Dovolené napětí

$R_e$  – mez kluzu materiálu 11 353.1.  $R_e = 235 \text{ MPa}$  [18]

$k_s$  – bezpečnost. Volena  $k_s = 2$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k_s} = \frac{235}{2} = 117,5 \text{ MPa}$$

### Výsledná podmínka

$$\sigma \leq \sigma_{dov} \rightarrow 78,7 \leq 117,5 \rightarrow \text{podmínka splněna}$$



## 7 Závěr

Na základě požadavků zadavatele práce bylo navrženo zařízení. Při samotné konstrukci bylo použito co nejvíce normalizovaných dílů. Zařízení bylo navrženo tak, aby zajistilo manipulaci s širokou škálou rotačních ocelových výkovků. To je zajištěno pomocí výměnných čelistí, které pomocí tvarového spoje a pojistného šroubu zajistí rychlou výměnu čelistí.

Byl proveden rozbor sil působících na zařízení, při upnutí na výkovek a upínací zařízení. Na základě zjištěných sil jsou jednotlivé součásti zkontrolovány. Všechny součásti vykazovaly dostatečnou pevnost vůči vypočteným zatěžujícím silám.

Všechny součásti, které zajišťují jednotlivé pohyby byly uloženy do kuličkových ložisek, která zajistila pohodlné ovládání manipulátoru. Bylo zajištěno těsnění ložisek a byl proveden výpočet trvanlivosti.

Výkresová dokumentace byla vytvořena dle zadání a všechny stanovené cíle na začátku práce byly splněny.

## 8 Seznam použitých zdrojů

### Literatura:

- [1] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8. Skripta. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [2] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-018-3.
- [3] Leinveber, J.; Vávra, P.: [i]Strojnické tabulky.[/i] 3.dopl.vyd. Praha: Albra 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

### Internetové zdroje:

- [4] DALMEC, *Technical characteristics of pneumatic manipulators Partner Equo* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <http://www.dalmec.com/partner-equo/>
- [5] DALMEC, *Bearings – mechanical components* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.dalmec.com/bearings-mechanical-components/>
- [6] ŽDAS, *Zařízení pro volné kování* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.industry-eu.cz/files/companies/890382.pdf>
- [7] ABB, *Robotics IRB 4400* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na [http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10035EN\\_R8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10035EN_R8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
- [8] Jilin Jiangji Mechanical Equipment Manufacture, *Manipulator JXS -TG-D02* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na [https://jl524.en.alibaba.com/product/60762087877-806538114/industrial\\_electrical\\_cross\\_robot\\_arm\\_EOD\\_manipulator.html?spm=a2700.icbuShop.41413.16.349c54c1TRdnfx](https://jl524.en.alibaba.com/product/60762087877-806538114/industrial_electrical_cross_robot_arm_EOD_manipulator.html?spm=a2700.icbuShop.41413.16.349c54c1TRdnfx)
- [9] Feron, *Konstrukční součásti* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://online.ferona.cz/>
- [10] Fabory, *Šroub s šestihrannou hlavou* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.fabory.com/cs/%C5%A0roub-se-%C5%A1estihrannou-hlavou-iso-4014-ocel-pozinkovan%C3%A9-8-8/p/01200?q=%3Arelevance&page=2>
- [11] SKF, *Online katalog* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.skf.com/cz/products/product-tables/index.html>
- [12] Gufero, *Pojistný segerový kroužek* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.gufero.cz/2589-segerove-pojistky>
- [13] Spojovací materiály, *Šroub s šestihrannou hlavou* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <http://www.spojovaci-material.net/sp/srouby/sestihranna-hlava/cely-zavit-din-933/ocel-8-8/pozink/sroub-sestihranny-cely-zavit-din-933-m5x20-8-8-pozink-13413.html>

- [14] Stránský a Petžík, *Pneumatické zařízení a příslušenství* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/jednocinne-valce-menu/jednocinne-valce-vdma-24562/>
- [15] Wikipedie, *Rameno valivého odporu* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na [http://wiki.unas.cz/wikipedia/r/ra/rameno\\_valiva\\_ho\\_odporu.html](http://wiki.unas.cz/wikipedia/r/ra/rameno_valiva_ho_odporu.html)
- [16] E-konstruktor, *Charakteristický modul průřezu v ohybu* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/14-kvadraticky-moment-a-modul-prurezu-v-ohybu/97-kvadraticky-moment-prurezu-modul-prurezu-v-ohybu-kruhu>
- [17] Bolzano, *Vlastnosti oceli 11 375* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10025/MOP\\_prehled\\_vlastnosti\\_S235JR.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf)
- [18] SEEBERGER, *Material data sheet 1.0254* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na [https://www.seeberger.net/\\_assets/pdf/werkstoffe/stahl/en/1.0254](https://www.seeberger.net/_assets/pdf/werkstoffe/stahl/en/1.0254)
- [19] ConVERTET, *Součinitel smykového tření* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné online na <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>

### **Zdroje obrázků:**

- [1] [http://www.dalmec.it/wp-content/uploads/2016/07/1444534\\_R03-1.jpg](http://www.dalmec.it/wp-content/uploads/2016/07/1444534_R03-1.jpg)
- [2] [http://www.dalmec.com/wp-content/uploads/2016/05/0631043\\_R03-e1465974452698.jpg](http://www.dalmec.com/wp-content/uploads/2016/05/0631043_R03-e1465974452698.jpg)
- [3] <https://www.mmspektrum.com/multimedia/image/101/10160.jpg>
- [4] <https://abbcloud.blob.core.windows.net/public/images/4fc59de6-07ee-4993-9549-aebcc2903668/presentation.jpg>
- [5] <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1lKEOvMaTBuNjSszfq6xgfpXaE/Military-equipment-telescopic-eod-mechanical-robot-arm.jpg>

## 9 Seznam příloh

TYP VÝKRESU	NÁZEV	OZNAČENÍ	VELIKOST FORMÁTU
SESTAVNÝ VÝKRES	MANIPULÁTOR	KLV-BC-1	A0
VÝROBNÍ VÝKRES	NÁKRUŽEK	KLV-BC-1/001	A3